استخدام التقنيات الرقمية ثلاثية الأبعاد لتوثيق وإعادة بناء المباني الأثرية المهدمة

هند شمس
المكتب الفني لشركة سيجمان،64 مصدق ، الجيزة
البريد الالكتروني: h_shams82@yahoo.com

ملخص. تفتقد مصر توثيق الكثير من كنوزها التراثية المتميزة مثل القطع والمباني والصروح والمواقع الأثرية؛ أما الجزء الموثق منها فيودع وثائق تسجليه في الأدراج وأرفف المكتبات دون أن يراها أحد أو يعلم حتى عن وجودها إلا من بحث عنها للدراسة أو حب الاطلاع، والتي اختفي منه الكثير؛ إما نتيجة إهمال وعوامل التلف والتداعيات الإنشائية المختلفة، وأما نتيجة هدم. وحدث ولا حرج عن عدد المباني الأثرية التي تم هدمها لتخطيط شوارع مكانها، وبالأخص في مدينة القاهرة التي تمتلك أكثر من ثلث آثار الحضارة الإسلامية التي مرت بها، ويظهر ذلك التغيير من خلال مقارنة ما وصفه علماء الحملة الفرنسية لمصر عام 1798 والصور التي أخذت لها من عام 1899 إلى عام 1920 مع ما بعدها؛ مما أدي إلا فقدان الكثير من التراث المهم دون أن يراه كثير من الأجيال التي تبعت دماره، فلو تمكنت هذا التراث من الكلام لحكي لنا ما لم يستطيع أحد أن يحكيه؛ لذلك أصبح مجال الحفاظ على هذا التراث أحد الأولويات الهامة على المستوى الدولي لمواجهة تلك المشاكل، والتي تطور أساليبه مع ظهور الثورة الرقمية وما تقدمها من تقنيات وإمكانيات تكنولوجية حديثة، والتي سبقتنا في استخدامها الكثير من الدول الأوربية والغربية للحفاظ علي آثارهم ولتأكيد هويتهم، ومن هذه التقنيات النماذج المعلوماتية المكانية ثلاثية الأبعاد التي دخلت تقريبًا في كل المجالات، وأصبحت ضرورية لمنافع الحياة، ومطلبًا مستمرًا من الجيل الحالي وجيل المستقبل، والاتجاه لاستخدامها في عمل نماذج افتراضية ثلاثية الأبعاد لهذا التراث؛ أما من خلال التسجيل الفوتوجرامتري والفوتوغرافي ومسح الليزر ثلاثي الأبعاد، وأما من خلال تسجيل الجرافيك عن طريق برامج الحاسب الآلي مثل: (AutoCAD - 3DMax) لاستغلالها في توثيق الأثر بالرسومات الثنائية والثلاثية الأبعاد، وإدراكهم أيضًا أنها تتناسب مع الأجيال القادمة؛ يتناول هذا البحث استخدام تقنية نمذجة معلومات البناء "BIM" Building Information Modeling في تسجيل وتوثيق وتخيل للإعادة البناء التراث، وبالأخص المباني الأثرية المهدمة جزئيًا أو كليًا، وذلك من خلال ما ورد عنه في الوثائق الأثرية من وصف كتابي أو صور أو رسومات..الخ، واستغلال التقنية في تطبيق علم الآثار الافتراضي, وإعادة بناء وتكوين المباني أو المنشآت أو القطع الأثرية افتراضيًا علي الحاسب في حقب ثابتة؛ بهدف توفير طريقة للحفاظ علي التراث بتكلفة أقل من الطرق الحديثة ذات التكاليف المرتفعة، وتوفير مكتبة لعناصره المعمارية الفريدة، وإحياء الوثائق الأثرية للآثار، وكذلك الاستفادة منها في عمليات الصيانة والترميم، وتوفير مادة علمية يمكن الاستفادة منها في دراسات قادمة تعمل على توجيه وتطوير الآليات المستخدمة للحفاظ على التراث.

الكلمات المفتاحية. *إعادة البناء - إعادة الإعمار - التسجيل والتوثيق - نمذجة معلومات البناء "BIM"- المباني الأثرية المهدمة.*

1. مقدمة

1.1.التراث وإعادة البناء

مرت العمارة المصرية على مر العصور بالعديد من الحضارات بداية من الحضارة الفرعونية منذ آلاف السنين، ومرورًا بالحضارة الإغريقية والرومانية، وانتهاءً بالحضارة الإسلامية؛ وقد تأثرت هذه العمارة في كل عصر من العصور بالحضارة السائدة حينها، فجاءت معبرة تعبيرًا دقيقًا عن تلك الحضارات المختلفة.

وقد قامت منظمة اليونسكو لعام 1972 بتعريف التراث الثقافي والطبيعي من خلال تصنيف هذا التراث لعدة أقسام رئيسية، وهي كالآتي: التراث الثقافي المادي (الآثار - الأعمال المعمارية- المواقع - التراث الطبيعي) والتراث الثقافي غير المادي (اللغات -الموسيقى - الفنون الشعبية والتعبيرية) والتراث الوثائقي: الذي يضم كافة الأعمال المدونة سواء المكتوبة أو المطبوعة بمختلف اللغات (اتفاقية حماية التراث العالمي الثقافي والطبيعي، 2004) وللحفاظ علي هذا التراث ويوجد إجراءات وأساليب يتم تحديدها طبقًا للمعايير الدولية التي حددتها منظمة اليونسكو, أو المواثيق الدولية الصادرة عن (ICOMOS) مثل: الحماية (Preservation), والترميم أو الإعادة للوضع الأصلي (Restoration)، وإعادة الاستخدام (Reuse), وإعادة التأهيل (Rehabilitation)، وإعادة البناء (Reconstruction)؛ والتي يطلق عليها أيضًا درجات التدخل في الحفاظ (Feilden, 2003).

وقد أوضح المحاري (2017) أن إعادة البناء هي عملية إعادة إنشاء جديدة لموقع أو مبنى ما تعرض لظروف معينة أدت إلى تدميره، وإعادته بشكل كامل أو لأجزاء وملامح غير موجودة، وذلك بهدف نسخ مظهره وشكله الذي كان يتميز به في فترة زمنية محددة. وأن هذه العملية لا تتم إلا في حالتين هما: حفظ وتحسين القيمة الجمالية وعرضها للجمهور بصورة مفهومة، أو بغرض تدعيم وتقوية الأثر أو المبنى كإجراء للحفاظ عليه؛ وتعرف هذه الدرجة أيضًا بمصطلح إعادة الإعمار (شعبان، 2017) وهو المسمى الذي يطلق حاليًا علي عملية إعادة البناء لكاتدرائية نوتردام الأثرية (الشرق الأوسط، 2019) وعملية إعادة البناء لآثار دولة سوريا (بوابة الأهرام، 2017).

وهناك نوعان أساسيان لعمليات إعادة البناء أو الاستكمال للمباني الأثرية القديمة، وهما:

1.إعادة التكوين Anastylosis.   2. إعادة البناء Reconstruction.

وهما ما نصت عليهما المواثيق الدولية عند محاولة استكمال الآثار مثل ميثاق أثينا 1931، وميثاق فينسيا 1964. ولأن هذا النوع من التدخل نادرًا ما يتم اللجوء إليه حتى لا تفقد الآثار هويتها, فإنه يتم الاتجاه حاليًا لاستخدام التقنيات الرقمي لتوثيق وإعادة بناء الآثار وذلك من خلال النماذج الافتراضية ثلاثية الأبعاد، وطباعتها بالطابعات ثلاثية الأبعاد ثم إعادة بنائها، أما في المكان الأصلي للأثر، أو بالسفر به لدول العالم ليراه الجميع؛ مثل ما حدث في أثر بوابة مدينة تدمر السورية (جويدة، 2016)، ويظهر ذلك في الرسم (1) .



الرسم 1. بوابة تدمر الأصلية علي اليمين، والبوابة بعد طباعتها علي اليسار (عن جويدة، 2016)

2.1.التوثيق

وتعتبر عملية التسجيل والتوثيق أحد الإجراءات الهامة التي تتطلبها عمليات الحفاظ، والمطلوبة في حد ذاتها لتسجيل وتوثيق المباني التاريخية والأثرية والمظاهر التي طرأت عليها عبر مختلف العصور؛ حيث أن التوثيق هو جميع العمليات التي من شأنها جمع وتسجيل كل البيانات والمعلومات المتعلقة بالأثر (سواء كان ثابتًا أو منقولًا)، والتي تشمل الوصف (المعماري والتاريخي ... إلخ) والرفع المعماري (في صورة مساقط ومناظير ثلاثية الأبعاد) والصور وغيرها من الوسائط والوسائل التي استخدمت في الماضي، وأيضًا جميع هذه البيانات بعد تحديثها في الوقت الحالي بالوسائل والتقنيات الحديثة في سبيل المحافظة على الآثار بشتى أنواعها، وصيانتها من التلف في الحاضر والمستقبل (شمس، 2020).

ويتلخص أهمية التوثيق بأنه طريقة فعالة تساهم في إدارة البيانات والمعلومات التي تخص التراث المعماري، وتساعد في إرشاد وتوجيه المسئولين والمتخصصين بخصوص التعامل الأفضل مع التراث, وتكون بمثابة كتاب مفتوح يمكن استخدامه والاستفادة منه كخبرة لتجارب مماثلة مستقبلًا (موسى، والقاضي, والأرياني، 2010) وأنها أول خطوات استدامة البيئات التراثية، وذلك من خلال مؤسسة مسئولة عن تجميع وتوثيق وإظهار كافة جوانب التراث العمراني (راشد، 2004).

وقد تم تقسم طرق التسجيل والتوثيق إلي طريقتين (النمرة وجعفر، د.ت) ، وهما:

1. الطرق التقليدية: هي الطرق التي تعتمد علي المجهود اليدوي والقدرات الفردية وأدوات القياس التقليدية، ومن أدواتها: الوصف الكتابي - الرسم - التسجيل الهندسي – التصوير
2. الطرق الحديثة: وهي الطرق التي تعتمد علي استخدام وتطبيق أحدث التقنيات العالمية المتطورة التي تساعد في إدخال البيانات والمعلومات بشكل رقمي علي الحاسب الآلي، ومن أدواتها:

الفوتوجرامتري Close Range Photogrammetry

ماسح الليزر ثلاثي الأبعاد 3D Laser Scanning

الاستشعار عن بعد والتصوير الجوي Remote Sensing

نظم المعلومات الجغرافية "GIS" Geographic Information System

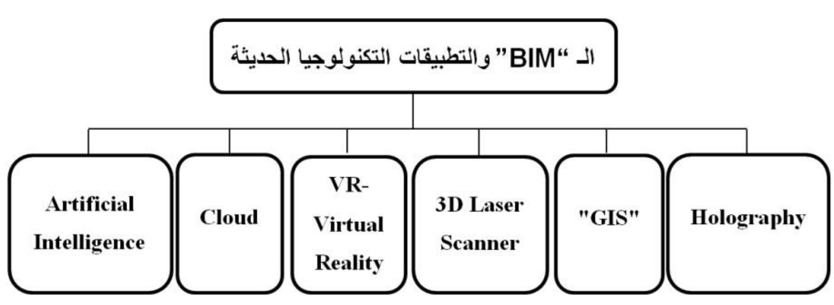
النماذج الافتراضية ثلاثية الأبعاد 3D Virtual Model

وقد نص ميثاق لاهور 1980 والخاص بصيانة وترميم التراث المعماري الإسلامي علي: أنه "يجب استخدام التقنيات التقليدية كلما أمكن ذلك، فإذا ثبت قصورها فيتم استخدام التقنيات الحديثة التي تكون قد أثبتت فعاليتها بالبيانات العلمية والتجربة".

2. نحو نمذجة التراث

وتعتبر تقنية الـ "BIM" أحد التقنيات المبتكرة في مجال العمارة والتشييد، وهي احد مراحل التطور للنماذج الافتراضية ثلاثية الأبعاد، فالـ "BIM" هي تصميم رقمي ثلاثي الأبعاد لمبني ما بتفاصيله وعناصره المعمارية والإنشائية وحتى الإلكتروميكانيكية في شكل نموذج متكامل به كل المعلومات؛ ليساعد في اتخاذ القرارات، وتلافي المشاكل التي تحدث في الموقع نتيجة اكتشاف التعارض أثناء العمل ومنها أعمال الترميم (شمس، 2020).

وقد دخلت تقنية الـ "BIM" في العديد من المجالات التعليمية والترفيهية والأثرية والهندسية بتخصصاتها؛ حتي أن فكرة ومفهوم نمذجة المعلومات استخدمت في مجالات لا تخص مجال البناء، ومن أمثلة هذه المجالات: مجال صناعة الإكسسوار الإلكترونية، ومجال صناعة السيارات، والمجال الرياضي، ومجال التسوق، حتي مجال الألعاب (البنا،2017، أ؛ ب؛ ت) وقد تم أيضًا الجمع بين تقنية الـ "BIM" وبين الكثير من التقنيات التكنولوجية الحديثة للوصول إلى أقصى استفادة في المجالات المختلفة، ومنها أدوات الطرق الحديثة للتسجيل والتوثيق، ويظهر ذلك في الرسم (2).



الرسم 2. علاقة الـ "BIM" بالتطبيقات التكنولوجية الحديثة (شمس، 2020)

وأصبحت نمذجة معلومات المباني التاريخية Historical Building Information Modeling "HBIM" هي رواية جديدة للحفاظ علي المباني الأثرية والتاريخية، والتي سبقت في استخدامها العديد من الدول الغربية مثل: إيطاليا وبريطانيا وإسبانيا، وذلك في نمذجة الكثير من هذه المباني الأثرية والتاريخية في مختلف دول العالم لتوثيقها وصيانتها منها: كاتدرائية ساغرادا فاميليا في إسبانيا، قلعة مسقرا في إيطاليا، كاتدرائية ليريكو في ميلانو، وبيت نصيف التاريخي بجدة وغيرها من المباني؛ وذلك لمعرفتهم بفوائد هذه التقنية في مجال الحفاظ علي التراث؛ حيث أن عملية التوثيق الرقمي في حالة الآثار السليمة أو المتضررة جزئيًا تكون أسهل بكثير من الآثار المهدمة؛ لأن المبني القائم يمكن استخدام معه تقنية التصوير الفوتوجرامتري، أو تقنية ماسح الليزر ثلاثي الأبعاد أو غيرهما، ثم القيام بإدخال هذه المعلومات إلى البرامج المتخصصة من تقنية الـ "BIM" وتحويلها إلى نماذج ثلاثية الأبعاد؛ أما في حالة الآثار المهدمة كليًا فيتم الرجوع لكل المعلومات والوثائق السابقة للأثر من وصف كتابي، أو رسومات، أو صور فوتوغرافية، واستكمالها بالدراسات والاستنتاجات الهندسية والأثرية؛ لاستكمال وإعادة البناء والإعمار لهذه الآثار المنهارة، وحسب هذه الوثائق تتوقف مدى دقة المعلومات ومدى دقة النموذج؛ فإما أن يكون النموذج متكاملًا وبأدق التفاصيل، وإما أن يكون توضيحيًا للمظهر العام الخارجي للأثر، ولكن سيعتبر بصمة مهمة للأثر؛ ويظهر الرسم (3) نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد لـ Manchester Town Hall Complex باستخدام التقنية.



الرسم 3. نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد لـ Manchester Town Hall Complex
(عن سليم وأحمد، 2017، أ)

ويمكن تقسم دور الـ "BIM" في مجال الحفاظ علي التراث كالآتي:

1. التوثيق الرقمي للمباني الأثرية والتاريخية.
2. أعمال الترميم والصيانة للمباني الأثرية والتاريخية.
3. أعمال الاستكمال وإعادة البناء والإعمار للآثار المنهارة.

4.تنشيط السياحة للمباني والمواقع الأثرية والتاريخية.

وذلك لاستبدال طرق حفظ الوثائق والسجلات الورقية والرسومات ثنائية الأبعاد إلى نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد بها كل المعلومات وذات دقة عالية وبأبعاد حقيقية، وتقليل تكاليف إعادة توثيق معلومات المبنى أذا حدث أي تغيير له علي مر الزمن بسبب ظروف غير متوقعة والبحث حينها عن أخر شكل للمبنى قبل تغيره، واستخدام التقنية في استكمال المباني المنهارة جزئيًا، وإعادة بناء المباني المنهارة كليًا (افتراضيًا أو علي أرض الواقع) وتوفير كل المعلومات وكمية المواد اللازمة لأعمال الترميم، وأيضًا القيام بربط نموذج الـ "BIM" بالواقع المعزز، أو الواقع الافتراضي؛ للاستفادة منها في إعداد خطط الترميم والصيانة وتجربتها، واختبار المواد والطرق المستخدمة في الترميم قبل تنفيذها علي الأثر الحقيقي لمعرفة عيوبها وتأثيرها عليه، والحد من الاختبارات وتكاليفها علي أرض الواقع، والتدريب الافتراضي علي أعمال الترميم، وبناء متاحف افتراضية للآثار علي شبكة الإنترنت.

3. إعادة بناء القباب السبع (السبع بنات) باستخدام الـ "BIM"

تم اتخاذ أثر القباب السبع التي تقع خلف عمارات الفسطاط الجديدة بحي مصر القديمة بالقاهرة للتطبيق عليه؛ حيث هي قباب موجودة في الفسطاط يرجع تاريخ بنائها إلى العصر الفاطمي (400 هـ - 1010م)، وهي من القباب المميزة والآثار القليلة الباقية عن هذا العصر، والتي لا يوجد شبيه لها إلا في جبانة أسوان، ويعتقد بعض العلماء أنها أقدم أضرحة بُنيت عليها قبة في مصر؛ لذلك تتميز هذه القباب بقيمة تاريخية ومعمارية وأثرية، ومع ذلك نجد أن الكثير من الذين تكلموا عن الآثار الفاطمية نسوا ذكرها، وتظهر الرسم (4) أثر القباب السبع في الفسطاط.



الرسم 4. القباب السبع في الفسطاط (عن الباحثة)

وقد تم اختيار أثر شبه مهدم للتطبيق عليه للتأكد من التوثيقات السابقة لهذا الأثر من وصف وصور فوتوغرافية ورسومات هندسية؛ لأنه عند توثيق أثر مهدم كليًا يجب أن تكون الوثائق السابقة والموجودة له ذات مصداقية عالية من الدقة وبالأخص الوصف الكتابي والرسومات الهندسية، ثم استكمالها بالدراسات والاستنتاجات الهندسية والأثرية لاستكماله وإعادة البناء والإعمار له.

وتم استخدام برنامج Revit لعمل النموذج ثلاثي الأبعاد للأثر لما له من مميزات عديدة، ومن أهمها: فهم نظام تشغيل البرنامج لعناصر المبنى وأنها وحده واحدة مثل: الحوائط والنوافذ والأبواب -وهي خاصية العائلات (Families)- واستخدامها لحل مشكلة عدم وجود مكتبة معمارية لعناصر

المباني الأثرية والتاريخية، وسهولة استخدامه مع الطرق التقليدية والحديثة في عمليات التوثيق؛ حيث يمكن إدخال الغيوم السحابية الناتجة عن المسح بالليزر إليه، وتحويلها إلى نموذج ثلاثي الأبعاد، وإضافة الصور الناتجة عن التصوير الفوتوجرامتري عليها، وأيضًا كونه من البرامج القليلة التي تخرج نموذج بأبعاد حقيقية بخلاف برامج أخرى تخرج نموذج شكلي فقط، وسهولة الحصول منه علي جداول الحصر ومعرفة الكميات المطلوبة في عمليات الترميم والاستكمال.

1.3. نبذة تاريخية ومعمارية عن الأثر

القباب السبع هي قباب بنيت على عدة أفراد من أسرة الوزير أبو القاسم الحسين بن على المغربي الذي قتلهم الخليفة الحاكم بأمر الله بعد أن هرب أبو القاسم من مصر، ثم بعد ذلك أمر الحاكم ببناء هذه القباب عليهم لإرضائه بعد أن آثار عليه ولاة شبه الجزيرة العربية (السخاوى، 1937) وقد ذكر السكرى أنها شاعت باسم قباب السبع بنات في أواخر العصر العثماني (عثمان، 2006) والمعروفة بها حتي الآن.

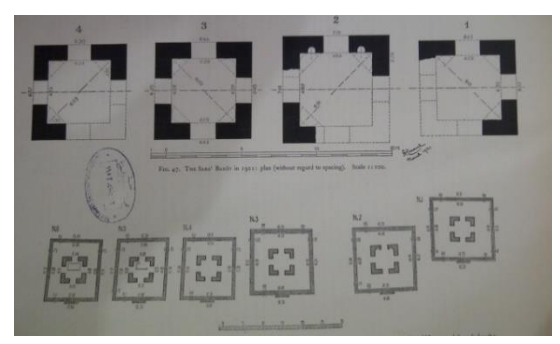
وقد صحح السخاوي (1937)عدد القباب وأنها "في الحقيقة ست قباب...وهم والد الوزير وأخواه وثلاثة من أهل بيته...وكان إلى جانبها قبة أخري فسميت بالسبع القباب بهذا الاعتبار" (ص. 170).

ويوجد حاليًا في موقع القباب السبع: أربع أضرحة فقدوا قبابهم ويغطي حوائطهما بقايا طبقة من الجص وبقع من الحناء وهبو الدخان، ويوجد أطلال من الحوائط لضريحين وأحواش كانت تحيط بكل ضريح، ويحيط بهم سور من الأحجار الغير منتظمة والقمامة التي تغطي الموقع العام تقريبًا بالكامل.

وقد بُنيت هذه القباب علي محور واحد تقريبًا من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي ما عدا القبة التي في اتجاه الجنوب الغربي، وتتكون الأضرحة الأربعة الموجودة حاليًا من ثلاث طوابق متدرجة: اتخذ فيها الطابق الأول كقاعدة مربعة الشكل بنيت من الحجر الدبش ويتوسط تقريبًا كل ضلع من أضلاعه فتحة ذات عقد مدبب، والذي يحمل فوقه منطقة انتقالية استخدم فيها الحنايا الركنية- وهى نفس الموجودة في قبة جامع الحاكم بأمر الله - وكل ضلع لها مثقوب بنافذة تتناسب مع الأبواب السفلية، وتحمل فوقها طابق ثماني الأضلاع يستخدم كقاعدة للقبة، وهو مثقوب بثماني نوافذ، وأن هذين الطابقين بُنيا من الطوب الأحمر المحروق تمامًا، وكانت طوابق الأضرحة مغطي تمام بالجص من الداخل والخارج والتي فُصل بينهم بحلية من الطوب، أما القبة الكروية الشكل فقد فقدت بالكامل.

2.3. بناء النموذج للأثر

وقد تم الرجوع لكل الوثائق الأثرية لأثر القباب السبع قبل البدء ببناء النموذج الافتراضي ثلاثي الأبعاد له، وهي كانت عبارة عن رسومات هندسية وصور فوتوغرافية مأخوذة عن كريزويل لهذه الأضرحة، ويظهر ذلك في الرسم (5)، وأيضًا تقرير فنية وصور فوتوغرافية مأخوذة عن لجنة حفظ الآثار العربية، ويظهر ذلك في الرسم (6).



الرسم 5. المساقط الأفقية (عن CRESWELL, 1952)



الرسم 6. القباب السبع سنة 1911 (عبد التواب، 2007)

وقد تم إتباع هذه الوثائق في خطوات العمل لأنها ستكون المصدر الأساسي والوحيد في المباني الأثرية المهدمة كليًا؛ ومع ذلك تم مراجعة الأبعاد التي ذكرها كريزويل مع الأبعاد الحالية للأضرحة التي تم رفعها أثناء الدراسة الميدانية للأثر؛ لتأكد من دقتها، وتم استنتاج أي أبعاد غير موجودة في الوثائق من خلال الصور التي اتخذت للأثر، واتباع الخطوات التالية لبناء النموذج:

1. البدء بعمل مستويات لكل ارتفاع طابق في البرنامج، واتخاذ الصفر المعماري من معبرة العقد المفتوح وسط كل واجهة (معبرة الأبواب) بالأخص العقد الموجود في حائط واجهة القبلة؛ لأنه هو الحائط الوحيد الذى لم يهدم منذ بناء الأثر، ثم البدء في رسم حوائط الطوابق لكل ضريح على حدة، وذلك بعد تعديل خصائصها في البرنامج مثل: تحديد نوع مادة البناء المستخدمة في كل حائط من حجر أو طوب، وتم استنتاج ارتفاع الطابق الثالث للضريح الأول الذى لم يسجله كريزويل بسبب دماره من خلال عِد الطوب الذى استكمل من خلال لجنة حفظ الآثار العربية، ومقارنته بعدد طوب أي ضريح استكمل أيضًا من خلال اللجنة، وأخذ ارتفاعه مما سجله كريزويل عنه، وهي كالآتي:

الجدول 1. استنتاج ارتفاع الطابق طبقا لعدد الطوب المستكمل للطابق.

	الضريح الرابع	الضريح الثاني	الضريح الأول
ارتفاع الطابق الثاني بالمتر	1.77	1.95	؟
عدد الطوب المستكمل للطابق	24	26	25

إذًا فإن ارتفاع الطابق الثاني في الضريح الأول هو متوسط مجموع الارتفاعين وهو 1.86 م.

2. البدء في وضع الأبواب والنوافذ والحنايا الركنية ذات العقد المدبب (ذات الأربعة مراكز) في أماكنها بعد بناء العناصر بارتفاعاتها المختلفة، وذلك بناء على الصور المأخوذة عن الأثر، وما أشار إليه كريزويل؛ حيث تم الاستعانة بالكود المصري لتصميم وتنفيذ المباني لتصميم العقد المدبب لهم (اللجنة الدائمة لأعداد الكود المصري، 2005) وقد تم حساب ارتفاع الباب بعِد الأحجار المجاورة له وضرب الناتج في ارتفاع الحجر؛ إما النوافذ فتم حساب ارتفاعها من حاصل ضرب عدد الطوب الذى بجوار النافذة في سمكه، وإما من طرح ارتفاع مدماك من ارتفاع هذا الطابق؛ بمعنى أن ارتفاع نافذة الطابق الثاني في الضريح الثاني يحسب بالطريقتين كالآتي:
   أ. وهو يساوى 1.95 – 0.07 = 1.88 م (حاصل طرح مدماك من ارتفاع الطابق).
   ب. وهو يساوى 0.075 × 25 = 1.88 م (حاصل ضرب عدد الطوب في سمك الطوبة شاملًا سمك المونة)؛ وبنفس الطريقة تم حساب ارتفاع باقي الأبواب والنوافذ لباقي الأضرحة.
3. رسم الحليات البارزة والفاصلة بين كل طابق بعد تعديل أساس وحدة عائلة الحلية الموجودة في البرنامج بوحدة الطوبة، ووضع المحرابين في مكانهما بالضريح الثاني الذي يتميز بهم عن باقي الأضرحة بعد بناء العنصر لهما، وبناء حوش كل ضريح بارتفاع 90 سم.
4. استكمال القبة بالشكل الكروي للأضرحة الأربعة؛ وذلك من خلال الدارسات السابقة التي تثبت أنها شبيه لبعض قباب الأضرحة الموجودة في جبانة أسوان، والتي تعود أيضًا للعصر الفاطمي.
5. تم بناء الضريح الخامس والسادس من أقرب أضرحة لهما في أبعادهما؛ حيث تم اتخاذ الضريح الخامس من الضريح الرابع والضريح السادس من الضريح الثالث، وهما أقرب مباني لهما في ضلع

القاعدة كما سجل كريزويل، ويظهر ذلك في الشكل (4)، وبما أن طول ضلع القاعدة الخارجية للضريح السادس هو نفس طول ضلع القاعدة الخارجية للضريح الثالث، فإذاً الضريحان متساويان في كل الأبعاد؛ أما بالنسبة للضريح الخامس تم تنسيب ارتفاعات طوابقه من ارتفاعات طوابق الضريح الرابع؛ حيث لوحظ أن فرق نسبة الارتفاع للضريحين الثالث والرابع هما نفس نسبة المساحة للضريحين، ويظهر ذلك كالآتي:

فرق نسبة ارتفاع الطابق الأول للضريحين =3.70 / 3.55 = 1.04،

وفرق نسبة المساحة للضريحين = 6.44 × 6.44 / 6.30 × 6.30 = 1.04،

ولذلك تم تنسيب ارتفاع الطابق الأول للضريح الخامس من ارتفاع الطابق الأول للضريح الرابع بحساب فرق نسبة المساحة للضريحين كالآتي:

فرق نسبة المساحة للضريحين = 6.30 × 6.30 / 6.28 × 6.28 = 1.01،

إذًا ارتفاع الطابق الأول للضريح الخامس بالنسبة للضريح الرابع= 3.55 / 1.01= 3.53 م،

وارتفاع الطابق الثاني =1.77 / 1.01= 1.75م، وارتفاع الطابق الثالث لنفس الضريح =1.55م.

6. بعد إنهاء النموذج تم البدء في بناء الوضع التخيلي للموقع العام وقت بناء الأثر،وعمل جداول بيان حصر لمواد البناء المستخدمة في بناء الأثر الحقيقي، ثم اتخاذ اللقطات المناسبة وإخراجها كصور من البرنامج، وأيضًا إخراج جداول بيان حصر بالكميات المواد المستخدمة في البناء.

3.3. القباب السبع بعد بناء النموذج

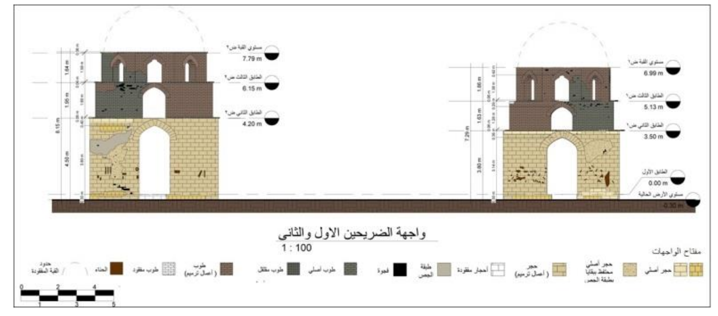
وتظهر مخرجات البرنامج الأثر كالآتي:
يظهر الرسم (7): نموذج افتراضي للقباب السبع من الجهة الجنوبية - وهو حائط القبلة، ويوضح الجدول (2): بيان حصر بكميات الطوب المستخدمة في بناء الأثر، ويظهر الرسم (8): الواجهات الرئيسية للضريح الأول والثاني الموجودين حاليًا في موقع الأثر من الجهة الشمالية الغربية، ويظهر الرسم (9): علي اليمين نموذج افتراضي للضريح الثاني من الداخل والذي يظهر المحرابان اللذان يتميزان بهما الضريح عن باقي الأضرحة ويظهر أيضًا أحد الحنايا الركنية للضريح، وعلي اليسار الوضع الحالي للضريح من نفس الزاوية وما به من مظاهر تلف بعد إدخال الصور الفوتوغرافية التي تم تصويرها للضريح ووضعها على النموذج ثلاثية الأبعاد.



الرسم 7. نموذج افتراضي للقباب السبع من الجهة الجنوبية (لحائط القبلة) (عن الباحثة)

جدول 2. بيان حصر بطوب الأضرحة (عن الباحثة)

Structural Material	Area	Volume	عدد طوب	Description
حائط طوب	10 m²	6.08 m³	3380.264017	طوب
حائط طوب	16 m²	9.73 m³	5404.642154	طوب
حائط طوب	43 m²	21.45 m³	11918.677675	طوب
حائط طوب	62 m²	29.71 m³	16504.271622	طوب
حائط طوب	25 m²	11.83 m³	6573.10103	طوب
حائط طوب	30 m²	10.64 m³	5908.704892	طوب
حائط طوب	51 m²	17.29 m³	9603.618416	طوب
حائط طوب	30 m²	7.98 m³	4432.333841	طوب
حائط طوب	31 m²	9.72 m³	5402.259879	طوب
Grand total: 96	297 m²	124.43 m³	69127.873526	



الرسم 8. واجهة الضريح الأول والثاني الموجودين حاليًا في الموقع (عن الباحثة)


الرسم 9. لقطة منظورية داخلية للضريح الثاني علي اليمين، ولقطة للوضع الحالي علي اليسار

وأنه يمكن الاستفادة من هذه المخرجات في ترميم وصيانة واستكمال الأثر، وحساب التكلفة اللازمة لعملية الترميم والصيانة؛ حيث أنه من خلال جدول بيان حصر الكميات الذي تم إخراجه معرفة الآتي:

أن نسبة الحجر: الطوب للأضرحة = 330 / 100،

وأن المتر المكعب في الطابق الأول للأضرحة = 6: 6.50 مدماك = 72 قطعة حجر تقريبًا،

وأنه يلزم لاستكمال الضريح السادس إلي 67 متر مكعب من الحجر، وعدد 10770 طوبة تقريبًا.

5. النتائج والتوصيات

وبذلك أثبتت منهجية البحث المتبعة في تطبيق تقنية الـ"BIM" أنها مفيدة جدًا في مجال الآثار لإحياء الوثائق التاريخية، وتوثيق الآثار بالطرق والتقنيات الحديثة، وتوفير المعلومات لعمليات الترميم والصيانة وإعادة التأهيل والاستخدام للحفاظ علي الآثار، وفي التنشيط السياحي لها بتوفير نماذج افتراضية ثلاثية الأبعاد للمتاحف والجولات الافتراضية، والاستفادة منها في الفترات التي تتوقف فيها حركة السياحة للآثار في مصر أو العالم عند انتشار الأوبئة والهجمات الإرهابية، وأيضًا لاستخدامها في عمل واقع افتراضي للمناطق الأثرية والمدن التاريخية بالكامل.

وأنه يمكن اتباع هذه المنهجية مع باقي المواقع الأثرية بالخطوات الآتية:



وتعد هذه الطريقة أيضًا طريقة بديلة لتوثيق المباني دون الحاجة إلى استخدام الأجهزة والتقنيات الحديثة المكلفة في عمليات التوثيق مثل: تقنية الفوتوجرامتري، أو تقنية ماسح الليزر ثلاثي الأبعاد والتي لا تتناسب مع توثيق المباني الأثرية المهدمة كليًا؛ لعدم إمكانية القيام بعملية المسح ثلاثي الأبعاد لها؛ ولأن تكلفة شراء أو استئجار هذه الأجهزة أحيانًا تكون أعلي من التكلفة المسموحة لعملية التوثيق من خلال الجهات المعنية والتي لا تسمح باستخدام هذه الأجهزة؛ لذلك توصي الدراسة بالآتي:

1. تشجيع الرسائل العلمية التي تبحث في مجال التوثيق للآثار؛ لأن نسبة عدد الدراسات في هذا المجال قليلة جدًا بالنسبة للدراسات الأخرى.
2. تشجيع الأبحاث التي تستفيد من تقنية الـ"BIM" في الحفاظ علي الآثار؛ لمعرفة الفوائد المرجوة منها عند استخدامها في المشروعات الأثرية.
3. إدخال تقنية الـ"BIM" كمنهج من برامج الحاسب الآلي في مناهج كليتي الهندسة والآثار؛ ليواكب خريجي الكليتين مع التطور الرقمي الموجود حاليًا.
4. عمل ورش لتطبيق تقنية الـ"BIM" بمجال الآثار للمتخصصين في هذا المجال للقيام بنشر تراثنا بطريقة حديثة، وتحويل الوثائق الأثرية نحو التقارب الرقمي؛ بهدف تشجيع وصول الجمهور العام إلى التراث الثقافي.

الشكر

الشكر لمعلميني في كلية الهندسة-جامعة المنصورة وفي دبلوم الترميم المعماري–قسم الترميم- كلية الآثار - جامعة القاهرة.

المراجع

اتفاقية حماية التراث العالمي الثقافي والطبيعي. (2004). استرجعت (أبريل 4، 2019) من
http://whc.unesco.org/fr/conventiontext(arabic)

البناء، معتصم:

- ما هو البيم؟ الجزء الأول. (2017،أ). *مجلة BIMarabia، العدد الثامن عشر*، ص ص. 4-8

- ما هو البيم/ الجزء الثاني. (2017، ب). *مجلة BIMarabia ، العدد التاسع عشر*، ص ص. 17-21.

- فرض المملكة المتحدة لنمذجة معلومات البناء – أين نبدأ؟. (2017، ت). مجلة BIMarabia ، العدد الواحد والعشرون، ص ص. 32-35.

السخاوى، أبى الحسن نور الدين على بن أحمد بن عمر بن خلف بن محمود. (1937). تحفة الأحباب وبغية الطلاب في الخطط و المزارات والتراجم والبقاع المباركات. القاهرة: مطبعة العلوم والآداب.

الشـرق الأوسـط. (2019). *لعبة فيديو شـهيرة قد تسـاعد في إعادة بناء كاتدرائية نوتردام*. اسـترجعت (17 أبريل، 2019) من /https://aawsat.com/home/article

اللجنة الدائمة لأعداد الكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ أعمال المباني. (2005). *الكود المصري لتصميم وتنفيذ المباني "كود رقم 204-2005"*. المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء، وزارة الإسكان والمرافق و المجتمعات العمرانية، القاهرة.

المحاري, سلمان. (2017). *حفظ المباني التاريخية "مبان من مدينة المحروق"*. الشارقة، الإمارات: المركز الإقليمي لحفظ التراث الثقافي في الوطن العربي (إيكروم).

النمرة، نادر جواد وجعفر، أشرف عبد المنعم. (د.ت). *الطرق الحديثة في التوثيق المعماري للمواقع الأثرية في فلسطين "حالة دراسية- تجربة مركز إيوان في التوثيق المعماري للمواقع الأثرية في البلدة القديمة بغزة باستخدام GIS"*. استرجعت(14نوفمبر،2017)منhttp://www.cpasegypt.com/pdf/Ashraf_Gaafar/Researches/010.pdf

بوابة الأهرام. (2017). *نموذج ثلاثي الأبعاد لمدينة تدمر الأثرية تسلمه روسيا إلى سوريا*. استرجعت (20 أغسطس، 2019) من http://gate.ahram.org.eg/News/1643125.aspx

جويدة، فاروق. (2016). "متحف المستقبل" يشارك في أعادة بناء "توأم" بوابة تدمر. *العين الإخبارية*. استرجعت (11 إبريل، 2019) من https://al-ain.com/article/127236

راشد، أحمد يحيي. (2004). *استدامة البيئات التراثية: توثيق العمران التراثي كمدخل لعملية الحفاظ "دراسة لقلعة الرميلة بمدينة العين"*. استرجعت (15ديسمبر، 2017) من/http://www.cpasegypt.com/pdf/Ahmed_Rashed

شعبان، محمد. (2017). كلمة العدد "آفاق استخدام البيم في مشاريع إعادة إعمار سوريا". *مجلة BIMarabia، العدد الخامس والعشرون*، ص. 2.

شمس، هند أحمد (2020). *استخدام تقنيات بناء النماذج الحاسوبية ثلاثية الأبعاد لتوثيق وتسجيل واستكمال وإعادة بناء المباني الأثرية المهدمة - تطبيقا علي مبني مختار*. رسالة ماجستير في الترميم المعماري، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

عبد التواب، عبد الرحمن. (2007). *كراسات لجنة حفظ الآثار العربية "الكراسة 28"* (تقديم د/ زاهي حواس). القاهرة: المجلس الأعلى للآثار.

عثمان، محمد عبد الستار. (2006). *العمارة الفاطمية: عمارة المشاهد والقباب "في العصر الفاطمي ج2"، موسوعة العمارة الفاطمية*. القاهرة: دار القاهرة.

موســى، محمد والقاضـــي, شـــوكت والأرياني, ســحر. (2010). *اســتخدام تقنيات التوثيق في الحفاظ على التراث المعمـاري "الجـامع الكبير بـاليمن كمثـال تطبيقي"*. ورقـة مقدمـة إلي المؤتمر الـدولي الأول للتراث العمراني في الـدول الإسلامية, الهيئة العامة للسياحة والآثار، الرياض، السعودية، 23: 28 مايو، 2010.

CRESWELL, K.A.C. (1952). *THE MUSLIM ARCHITECTURE OF EGYPT "IKHSHIDS AND FATIMIDS"*. London, UK: Oxford.

Feilden, B. M. (2003). *Conservation of historic buildings* (3nd ed.). London, Britain: Architecture press